动 物 学 研 究 2004, Feb. 25 (1): 15~19 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

皮氏菊头蝠回声定位声波与年龄的关系

陈 敏[2], 冯 江[1,*], 刘 颖[1], 张喜臣[1], 李振新[1], 周 江[3], 张树义[4]

(1. 东北师范大学 环境科学系, 吉林 长春 130024; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;
3. 贵州师范大学 生物系, 贵州 贵阳 550000; 4. 中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要: 皮氏菊头蝠 (*Rhinolophus pearsoni*) 雌性成体5只和幼体2只采自贵州省贞丰县珉谷镇。采用超声波探测仪 (D980, ULTRASOUND DETECTOR) 接收皮氏菊头蝠的回声定位声波, 转换到原频率的1/10后导入计算机, 然后用专业声谱分析软件 (Batsound 3.10) 进行分析。成蝠在飞行和悬挂状态下的声波结构相似, 只是声波各项参数值略有不同: 它们发射FM-CF-FM型声波, 具有2~3个谐波, 主频率在飞行时为56.80±0.62 kHz, 悬挂时为58.05±0.24 kHz; 声脉冲时间和间隔在飞行时分别为34.62±5.29 ms和86.50±19.72 ms, 悬挂时分别为41.08±5.87 ms和117.29±66.44 ms; 能率环飞行时为 (44.06±12.58)%, 悬挂时为 (46.00±24.25)%。幼蝠声波为CF-FM型, 谐波数为5~8个, 主频率明显低于成体, FM带宽窄于成体, 声脉冲时间和间隔短于成体, 能率环低于成体。皮氏菊头蝠回声定位声波与年龄有关, 这可能因成体的声波主要是探测食物和周围环境的详细信息, 而幼体主要是与母蝠进行交流。

关键词: 皮氏菊头蝠; 成幼体; 回声定位声波
中图分类号: Q959.833 **文献标识码**: A **文章编号**: 0254-5853(2004)01-0015-05

Relationship Between Echolocation Calls and Age in the Bat Species of *Rhinolophus pearsoni*

CHEN Min[2], FENG Jiang[1,*], LIU Ying[1], ZHANG Xi-chen[1], LI Zhen-xin[1], ZHOU Jiang[3], ZHANG Shu-yi[4]

(1. *Environmental Science Department*, *Northeast Normal University*, *Changchun* 130024, *China*;
2. *Research Center for Eco-Environmental Sciences*, *the Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100085, *China*;
3. *Biology Department*, *Guizhou Normal University*, *Guiyang* 550000, *China*;
4. *Institute of Zoology*, *the Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100080, *China*)

Abstract: Five adult and two young female bats of *Rhinolophus pearsoni* were captured in Mingu town, Zhenfeng County of Guizhou Province. Their echolocation calls were received with ultrasound detector (D980, ULTRASOUND DETECTOR), read out at one-tenth of the original speed, and then recorded to computer. Batsound 3.10 software was used to analyze the recorded echolocation calls. The result showed that the adult bat emitted FM-CF-FM calls often with 2-3 harmonics, the call's dominant frequency, pulse duration and interpulse interval were 56.80±0.62 kHz, 34.62±5.29 ms and 86.50±19.72 ms at fly, and 58.05±0.24 kHz, 41.08±5.87 ms and 117.29±66.44 ms at hang, respectively, and duty cycle was (44.06±12.58)% at fly and (46.00±24.25)% at hang. The young bat emitted CF-FM calls with 5-8 harmonics. The call's dominant frequency of the young was lower, FM bandwidth was narrower, pulse duration and interpulse interval were shorter, and duty cycle was lower than those of the adult. It is suggested that the echolocation call was correlated with the age in bats *R. pearsoni*. The adult call responded for detecting the information of food and surroundings, and the young one was for communicating with its mother.

Key words: *Rhinolophus pearsoni*; Adult and young bats; Echolocation call

收稿日期: 2003-05-06; 接受日期: 2003-11-05
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30070108)
Foundation item: This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (30070108)
*通讯作者 (Corresponding author), Tel: 0431-5268950, E-mail: fengj@nenu.edu.cn

蝙蝠的回声定位声波受到许多因素的影响,除受蝙蝠体型大小(Feng et al, 2002)、性别(Jones & Kokurewicz, 1994; Jones et al, 1992)、捕食阶段(Schnitzler & Kalko, 1998)的影响外,还受到所处状态(Chen et al, 2002)、年龄(Jones & Kokurewicz, 1994;Jones et al, 1992)的影响。

对于不同行为状态,文献中有对马铁菊头蝠(Feng et al, 2000)、普氏蹄蝠(Chen et al, 2002)不同行为状态下声波差异性的比较研究,发现飞行与悬挂状态下回声定位声波有一定的差异,如飞行状态下的主频率低于悬挂状态,声脉冲时间和间隔时间短于悬挂状态。

对于不同年龄,只有水鼠耳蝠(Jones & Kokurewicz, 1994)、小菊头蝠(Jones et al, 1992)不同年龄的回声定位声波的比较研究,发现不同年龄的蝙蝠声波不同,如一年以下蝙蝠声波主频率低于一年以上蝙蝠。是否其他蝙蝠种类也存在着回声定位声波随蝙蝠年龄的不同而不同的现象,回声定位声波因年龄不同而存在的差异具有什么生物学和生态学意义,将是本文要研究的重点问题。

皮氏菊头蝠隶属菊头蝠科菊头蝠属,在中国分布较广(Liang, 1993)。我们对皮氏菊头蝠不同年龄个体的声波进行了比较研究,并探讨了声波存在差异的生物学和生态学意义。

1 材料与方法

1.1 动物及其体型测量

于2002年6月傍晚(19:45~20:00),在贵州省贞丰县珉谷镇河堡村拿观洞和毛家洞的洞口张粘网(8 m×3 m),捕捉出洞觅食的蝙蝠,捕获后放入布袋,做上标记。种的鉴别和定名依据Liang(1993)的报道,共捕获7只皮氏菊头蝠(*Rhinolophus pearsoni*)。

根据蝙蝠的外生殖器鉴别性别;根据乳头及周围裸露情况判断是否曾经哺乳;用强光电筒照射第五指掌指关节,由骨化程度判断成幼。用天平称量体重,用直尺测量头体长等8个形态数据。

1.2 回声定位声波的录制

将蝙蝠在简易录音室单只分别释放,保证室内只有1只蝙蝠,减少干扰噪音,使声波清晰。当蝙蝠恢复到正常状态,可以自如地在室内飞行、停留和倒挂时,开始录音。采用超声波探测仪(频率范围5~205 kHz,D980)接收超声波。飞行状态录音需在蝙蝠径直飞向声波探测仪麦克风距离约1 m时对准蝙蝠头部进行声波接收,悬挂状态录音需将探测仪麦克风距离倒挂蝙蝠头部1 m左右进行声波接收。对幼蝠只录制静止状态的声波,将探测仪的麦克风对准幼蝠头部距离约1 m时进行声波接收。声波先存储于探测仪自带的存储器中(可存储真实时间长度为12 s的声波),转换为原频率的1/10后,导入计算机,并为声波准确编号和记录。每只蝙蝠样本各录音5次。

1.3 回声定位声波的分析

在计算机上,采用专门的声波分析软件Batsound 3.10对导入的超声波进行分析,分析内容包括声谱图(频率-时间图)及能量谱图(声强-频率图)。能量谱图的分析点数为1 024,声谱图采用哈明窗(hanning)分析,分析精度为256 Hz,分析衰减为60 dB。记录声波的谐波数、FM带宽和主频率、声脉冲时间(pulse duration)、声脉冲间隔(interpulse interval,一个脉冲开始至下一个脉冲开始之间的时间),计算能率环(duty cycle,声脉冲时间占间隔时间的百分比)。

2 结果

2.1 形态特征

7只皮氏菊头蝠皆为雌性,其中5只成体,2只幼体,其形态特征见表1。幼体为2只成体所带,身体较小,未成为亚成体,无法独立飞行,只能爬行或挂于母蝠身体上随母蝠飞行。

表1 皮氏菊头蝠雌性形态特征

Table 1 Morphological features of female *Rhinolophus pearsoni*

形态 Morphometrics	成蝠 Adult ($n=5$)	幼蝠 Young ($n=2$)*
体重 Body mass (g)	14.53±0.91	5.66, 6.56
头体长 Body length (mm)	59.25±3.95	43, 50
前臂长 Forearm length (mm)	51.50±3.70	28.5, 38
胫长 Tibia length (mm)	27.00±1.08	13.5, 18
后足长 Foot length (mm)	12.75±0.87	13, 13
翼长 Wing length (mm)	150.00±4.76	85, 108
翼宽 Wing width (mm)	77.75±2.63	40, 55
翼展 Wing span (mm)	346.25±14.57	186, 247
尾长 Tail length (mm)	24.63±3.64	13, 17

* 数值分别为幼蝠1和幼蝠2(Values are attributed to young 1 and young 2, respectively)。

2.2　回声定位声波特征

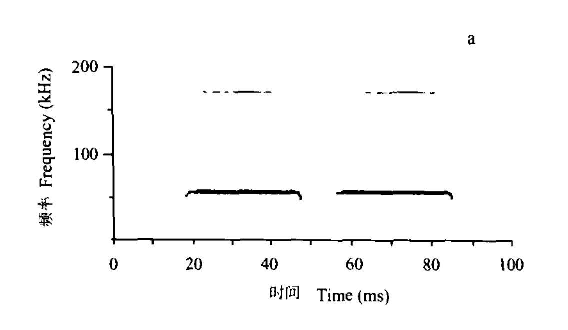
飞行状态下，皮氏菊头蝠成体声波为 FM-CF-FM 型（$n=25$）（图 1）；有时声波单个存在，有时 2 个声波为 1 组；一般具有 2～3 个谐波，第一谐波最强，第三谐波其次，第二谐波最弱。第一谐波前端 FM 带宽为11.12±2.28 kHz，CF 部分为55.88±0.78 kHz，后端 FM 为 12.00±2.02 kHz；第二、三谐波只有 CF 部分清晰，分别为 112.56±1.47 kHz 和 172.00±0.00 kHz；主频率为 56.80±0.62 kHz。声脉冲时间为 34.62±5.29 ms，声脉冲间隔为 86.50±19.72 ms，能率环为（44.06±12.58）%。成蝠在悬挂状态下的声波结构与飞行状态相似，只是声波各项参数值略有不同（$n=27$）：第一谐波前端 FM 带宽为 8.05±1.92 kHz，CF 部分为 57.00±0.00 kHz，后端 FM 为 9.96±2.75 kHz；第二、三谐波也是只有 CF 部分清晰，分别为 115.00±0.00 kHz 和 173.00±0.00 kHz；主频率为 58.05±0.24 kHz。声脉冲时间为 41.08±5.87 ms，声脉冲间隔为 117.29±66.44 ms，能率环为（46.00±24.25）%。

皮氏菊头蝠幼蝠静止（伏在地面）时发出很强的 CF-FM 型声波（图 2），具有 5～8 个谐波，只有前 4 个谐波较清晰，声波大多数 2 或 3 个为 1 组。两只幼蝠声波结构基本相同，但频率略有差异（表 2），第五至八谐波的 CF 部分分别为 96、114、131 和 145 kHz，但是主频率不明显，第一谐波最强，第三谐波其次。

3　讨　论

3.1　年龄与回声定位声波

皮氏菊头蝠成蝠在飞行和悬挂状态下声波虽然存在细微的差异，但与幼蝠声波相比，成蝠声波表现出很大程度的共性，与幼蝠明显不同。幼蝠声波为 CF-FM 型，成蝠为 FM-CF-FM 型；幼蝠谐波数明显高于成蝠，幼蝠为 5～8 个，成蝠为 2～3 个；幼蝠频率较成蝠低，如第一谐波 CF 部分，幼蝠 1、幼蝠 2、成蝠飞行状态、成蝠悬挂状态分别为 17.44、19.05、55.88、57.00 kHz。水鼠耳蝠（Jones & Kokurewicz，1994）和小菊头蝠（Jones et al，1992）成蝠主频率也显著高于幼蝠。皮氏菊头蝠 CF 后端 FM 带宽幼蝠较成蝠窄，如第一谐波 FM 带宽幼蝠 1、幼蝠 2、成蝠飞行状态、成蝠悬挂状态分别为4.19、5.10、12.00、9.96 kHz；幼蝠声脉冲时间和间隔都较成蝠短，能率环也较成蝠低。



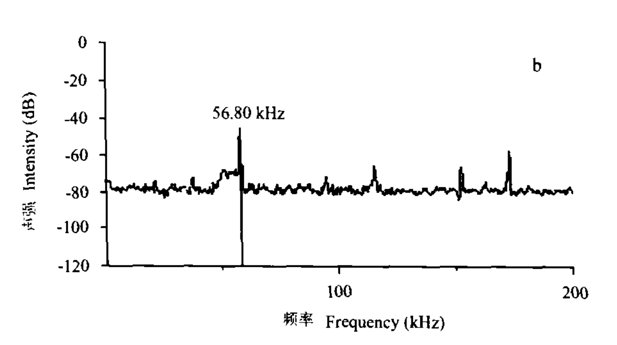
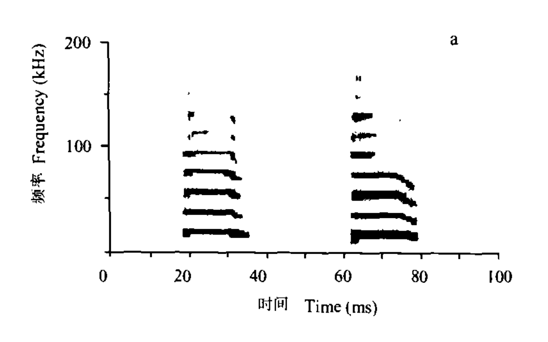


图 1　皮氏菊头蝠成蝠飞行状态下回声定位声谱（a）和能量谱（b）图

Fig.1　Spectrogram (a) and power spectrum (b) of echolocation calls in adult *R. pearsoni* at fly



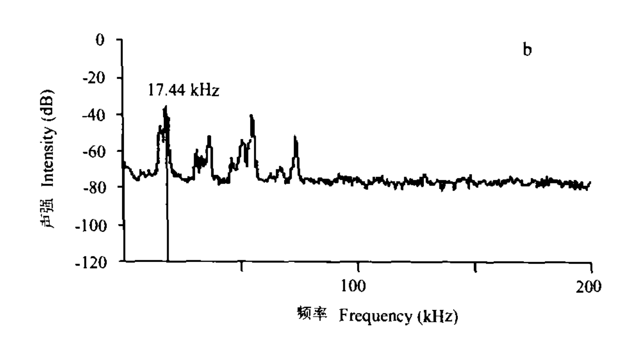


图 2　皮氏菊头蝠幼蝠静止状态下回声定位声谱（a）和能量谱（b）图

Fig.2　Spectrogram (a) and power spectrum (b) of echolocation calls in young *R. pearsoni* at rest

表 2 皮氏菊头蝠幼蝠回声定位声波特征
Table 2 Echolocation calls of young *R. pearsoni*

	幼蝠 1 young 1 ($n = 68$)	幼蝠 2 young 2 ($n = 61$)
CF (kHz)		
一谐 The 1st harmonic	17.44 ± 0.95	19.05 ± 1.19
二谐 The 2nd harmonic	35.16 ± 1.83	38.84 ± 2.13
三谐 The 3rd harmonic	53.19 ± 2.88	58.54 ± 3.16
四谐 The 4th harmonic	70.94 ± 3.63	78.26 ± 4.14
FM 带宽 FM bandwidth (kHz)		
一谐 The 1st harmonic	4.19 ± 0.84	5.10 ± 0.85
二谐 The 2nd harmonic	6.61 ± 1.42	9.18 ± 1.19
三谐 The 3rd harmonic	8.76 ± 2.33	11.97 ± 2.02
四谐 The 4th harmonic	9.21 ± 3.72	14.48 ± 4.17
声脉冲时间 Pulse duration (ms)	16.18 ± 4.91	15.88 ± 2.12
声脉冲间隔 Interpulse interval (ms)	69.44 ± 47.87	61.06 ± 39.22
能率环 Duty cycle (%)	31.35 ± 15.93	36.22 ± 16.98

2只幼蝠中，幼蝠1的体型小于幼蝠2，前者第一至四谐波的CF部分和CF后端FM带宽均明显低于后者，声脉冲时间和间隔长于后者，能率环低于后者。由此可见，随着蝙蝠由幼蝠成长为成蝠，体型不断增大，声波结构和特征也发生相应的变化，如谐波数减少、频率增加、FM带宽增加、能率环增加等，这种变化可能与蝙蝠的生理需要有关。由于幼蝠身体尚未发育完全，如翼太脆弱无法飞行、不能独立采食，幼蝠声波的主要任务不是捉取昆虫等食物，而是有效地与母蝠进行交流，因此频率低，传播较远，便于较大范围地搜寻母蝠，FM带宽不大，因为它们不必精确地定位或探测周围环境的信息以捕获昆虫或逃离危险境地，这一切可靠母蝠完成。对于成蝠，身体发育完全，声波主要任务是探测食物和周围环境的详细信息：声波频率高，适于捕食适当大小的昆虫；FM带宽大，便于精确定位和识别周围环境；能率环较高，便于有效地捕食。随着幼蝠的成长，其身体结构日趋完善，声波频率继续提高，声波结构与成蝠越来越相似。当它们最初能够独立捕食时，声波结构可能与成蝠有一定差异，如声波频率略低于成蝠，从而同种蝙蝠成体和幼体的捕食策略也存在差异，幼蝠可能只能探测到较大的猎物，而成蝠能够探测到较大和较小的猎物，捕食效率较高。

3.2 母蝠与幼蝠的通讯交流行为

幼蝠被捕获时，倒趴在母蝠腹面，口中咬着假乳头，与母蝠一同出入山洞。菊头蝠通常为一雄多雌进行交配，常在洞中形成族系，在同一族系内，雌蝠之间互相帮助育幼（Shen & Lee，2000）。本次调查中，将母蝠与幼蝠分开，将另一只雌性皮氏菊头蝠与幼蝠放入同一箱中，观察到幼蝠并不与“陌生”雌蝠接触，而是时常发出人耳可听声，四处“张望”，仿佛到处寻找母亲。将幼蝠与“陌生”雌蝠强行放在一处时（如将幼蝠放在雌蝠身上），幼蝠仍不断发出叫声，不因有成蝠存在而“安静”，“陌生”雌蝠也并不接受幼蝠，未观察到育幼行为，直到幼蝠从其身上落下。当幼蝠与母蝠被放在同一箱中时，它们很快找到对方，幼蝠顺利地趴到母蝠的腹部，咬住假乳头，母蝠倒挂在箱中合适位置，幼蝠不再频频发出响亮的可听声，变得比较“安静”。母蝠与“陌生”雌蝠捕于同一山洞中，但可能不是属于同一族系，因为它们没有共同育幼，所以同一山洞中可能存在着多个不同族系。

当将两只幼蝠交换饲养箱时，即第一组幼蝠与第二组母蝠放入一箱，第二组幼蝠与第一组母蝠放入一箱，观察到这两对陌生的成幼体并无亲近行为，母蝠不靠近陌生的幼蝠，幼蝠仍发出响亮可听声，似乎仍因没找到母亲而焦急。幼蝠的可听声没有很大差别，但声波特征差别明显。母蝠和幼蝠之间的通讯交流一方面是通过气味，另一方面是通过

声音（Shen & Lee，2000），幼蝠不断发出叫声，直到找到母亲为止，说明皮氏菊头蝠母幼之间声音交流起很大作用，母幼之间靠特殊的声波来识别。两个幼蝠声波有明显的差异，除与其正常发育状态有关外，可能还成为母蝠识别其所生幼蝠的信号。这种现象与在马铁菊头蝠、大耳蝠、莹鼠耳蝠、小棕蝠及绯鼠耳蝠（Shen & Lee，2000）等蝙蝠中的母幼交流是一致的，它们的幼蝠也能够发出清晰或微弱的间断叫声，使母蝠在幼蝠群体中找到自己的幼仔进行哺乳，避免发生错误的哺乳行为。

致谢：本次研究的野外工作得到贵州师范大学生物系黎道洪老师、黄文虎同学和中国科学院动物研究所张劲硕老师的大力支持，在此表示感谢。

参考文献：

Chen M, Feng J, Li ZX, Zhou J, Zhao HH, Zhang SY, Sheng LX. 2002. Echolocation sound waves, morphological features and foraging strategies in *Hipposideros pratti* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **13** (12): 1629-1632. [陈　敏，冯　江，李振新，周　江，赵辉华，张树义，盛连喜. 2002. 普氏蹄蝠（*Hipposideros pratti*）回声定位声波、形态及捕食策略. 应用生态学报，**13** (12): 1629-1632.]

Feng J, Chen M, Li ZX, Zhang SY, Zhao HH, Zhou J. 2002. Correlation between echolocation calls and morphological features among three kinds of bats [J]. *Progress in Nature Science*, **12** (9): 673-678.

Feng J, Zhang SY, Li ZX, Sheng LX, Wang LX. 2000. Primary studies of echolocation calls of greater horseshoe bat at different behaviors [J]. *Acta Zool. Sin.*, **46** (2): 230-232. [冯　江，张树义，李振新，盛连喜，王立新. 2000. 马铁菊头蝠不同行为下的回声定位信号. 动物学报，**46** (2): 230-232.]

Jones G, Kokurewicz T. 1994. Sex and age variation in echolocation calls and flight morphology of Daubenton's Bats *Myotis daubentonii* [J]. *Mammalia*, **58** (1): 41-50.

Jones G, Gordon T, Nightingale J. 1992. Sex and age differences in the echolocation calls of the lesser horseshoe bat, *Rhinolophus hipposideros* [J]. *Mammalia*, **56** (2): 189-193.

Liang ZM. 1993. Chiroptera [A]. In: Luo R, Xie JH, Gu YH, Li DH, Qin YF. The Beasts in Guizhou [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press. [梁智明. 1993. 翼手目. 见：罗蓉，谢家骅，辜永河，黎道洪，秦玉芬. 贵州兽类志. 贵阳：贵州科技出版社.]

Schnitzler H-U, Kalko EKV. 1998. How echolocating bats search and find food [A]. In: Kunz TH, Racey PA. Bat: Biology and Conservation [M]. Washington: Smithsonian Institution Press. 183-195.

Shen HP, Lee LL. 2000. Mother-young interactions in a maternity colony of *Myotis formosus* [J]. *Journal of Mammalogy*, **81** (3): 726-733.

2004 年《动物学研究》封面“透明金线鲃”简介

透明金线鲃（*Sinaocyclocheilus hyalinus*，hyaline fish）隶属鲤形目（Cypriniformes）鲤科（Cyprinidae）鲃亚科（Barbinae），是一种高度特化的洞穴鱼类。最大个体全长达 108 mm，体裸露无鳞，眼睛和皮下色素完全退化，头背后方具一发达的锥状感觉突起，侧线不完全，须纤细；体呈半透明状态，隐约可见内脏轮廓。

透明金线鲃生活于云南省泸西县阿庐古洞。该洞有三洞一暗河，是个非常发达的石灰岩溶洞系统。对暗河透明鱼最早的记载为 1541 年解一经所撰《阿庐洞记》，1991 年经中国科学院昆明动物研究所等单位研究人员进行科学鉴定并正式命名为透明金线鲃。

杨君兴
（中国科学院昆明动物研究所　650223）